

Sensordatenverarbeitung

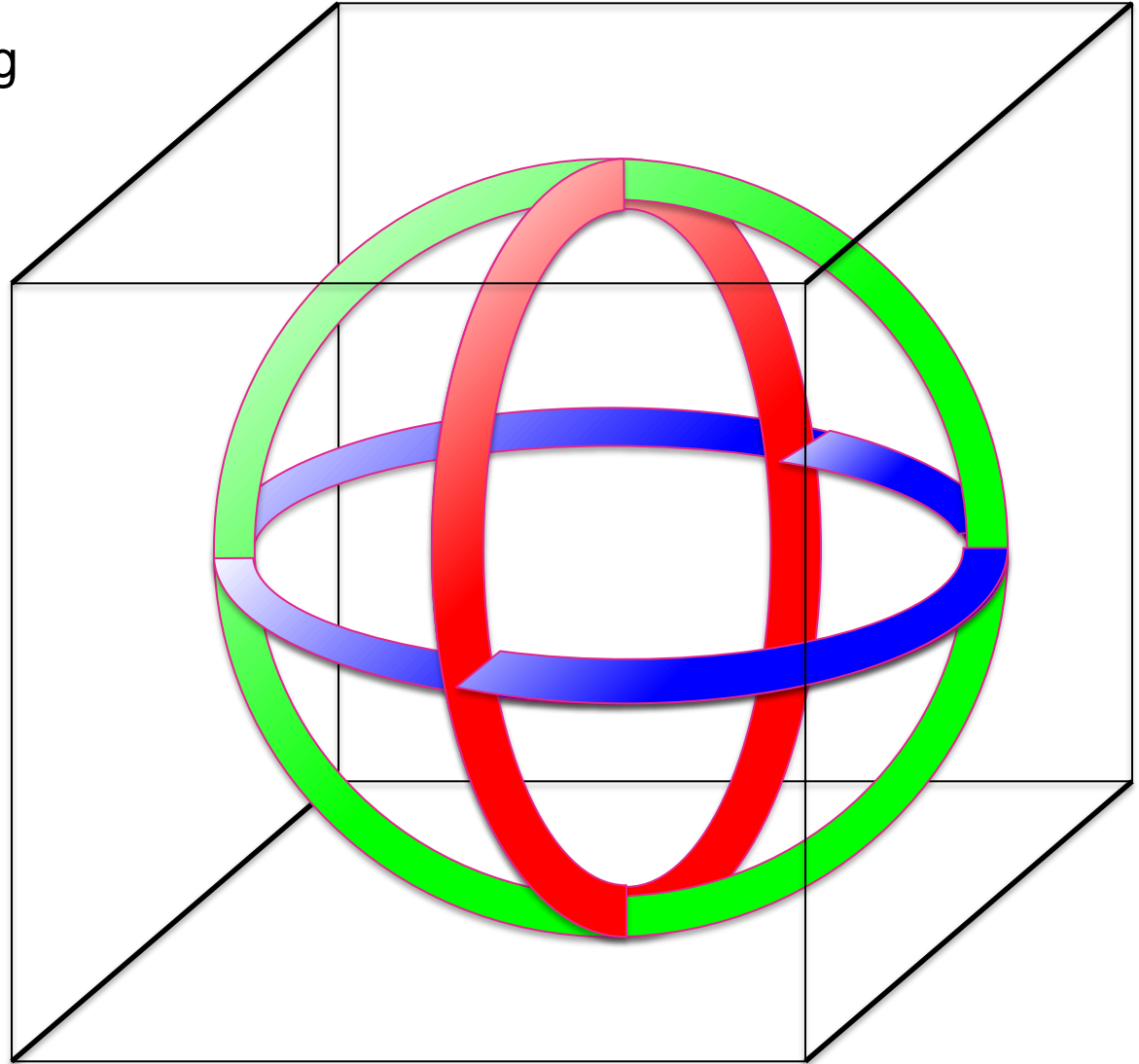
GYROMETER (5C)

(11.-15.11.24)

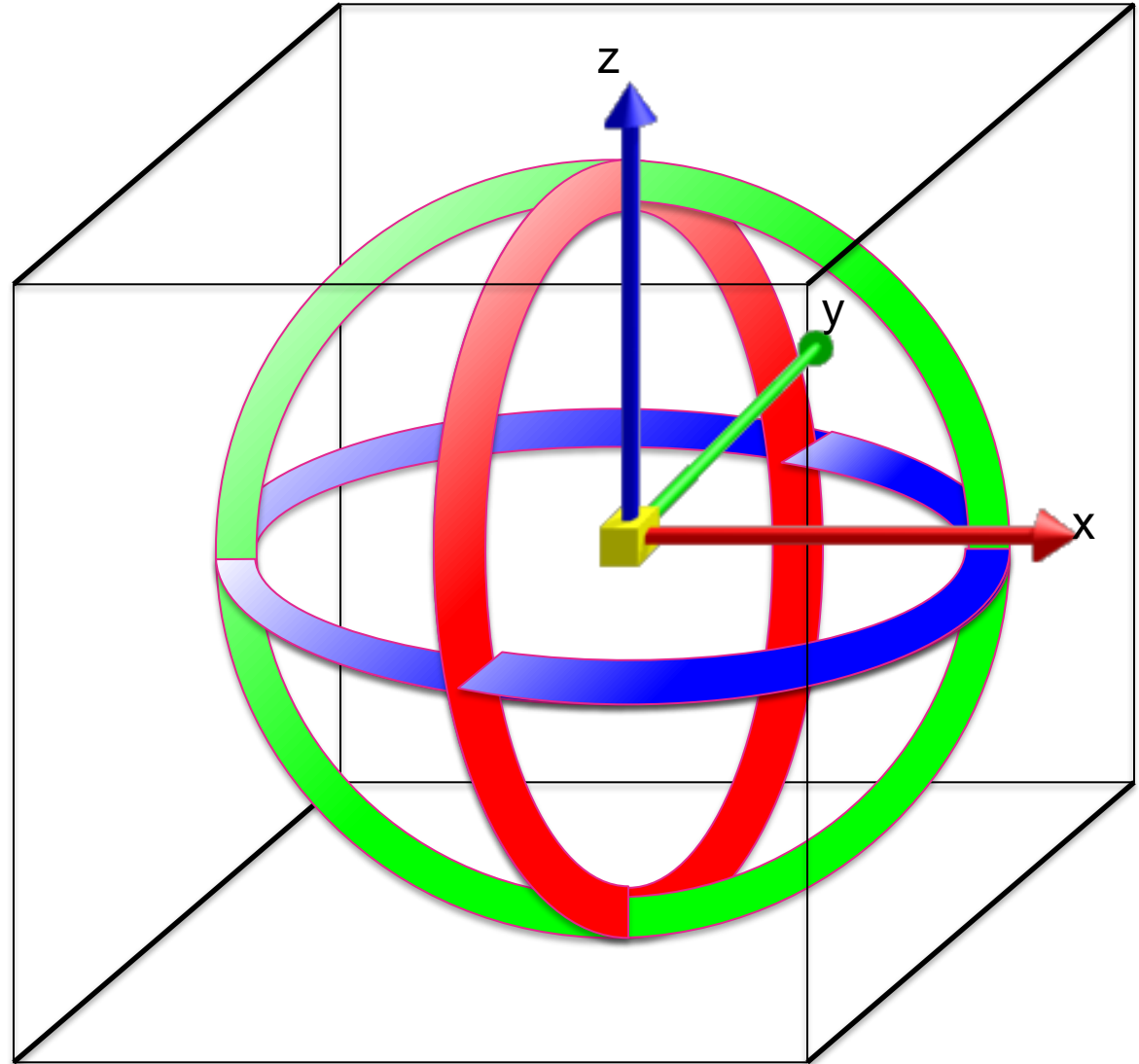
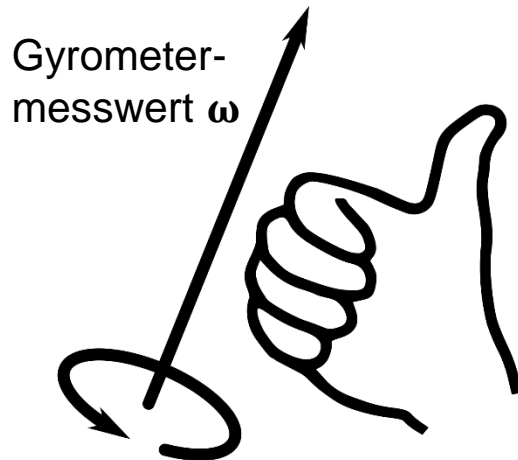


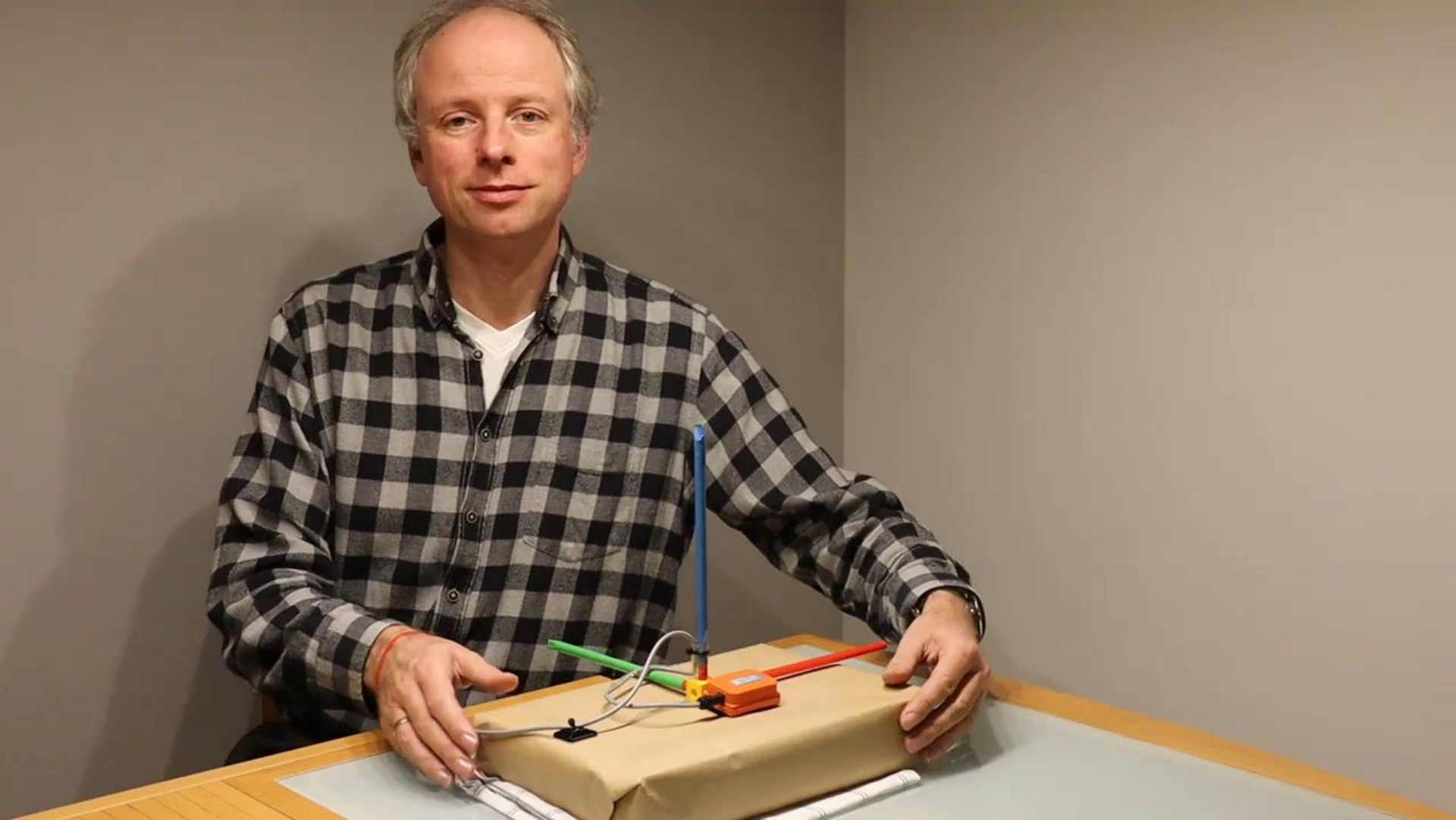
Was misst ein Gyrometer?

- Licht durchläuft einen Ring in zwei Richtungen und interferiert danach
- Licht fliegt im Raum mit fester Geschwindigkeit
- Dreht sich der Ring
 - ist der Weg in einer Richtung kürzer als in der anderen
 - Interferenz ändert sich
 - Änderung wird gemessen
- Aufbau der lowcost Chip-Gyrometer anders
 - geht hier ums Prinzip

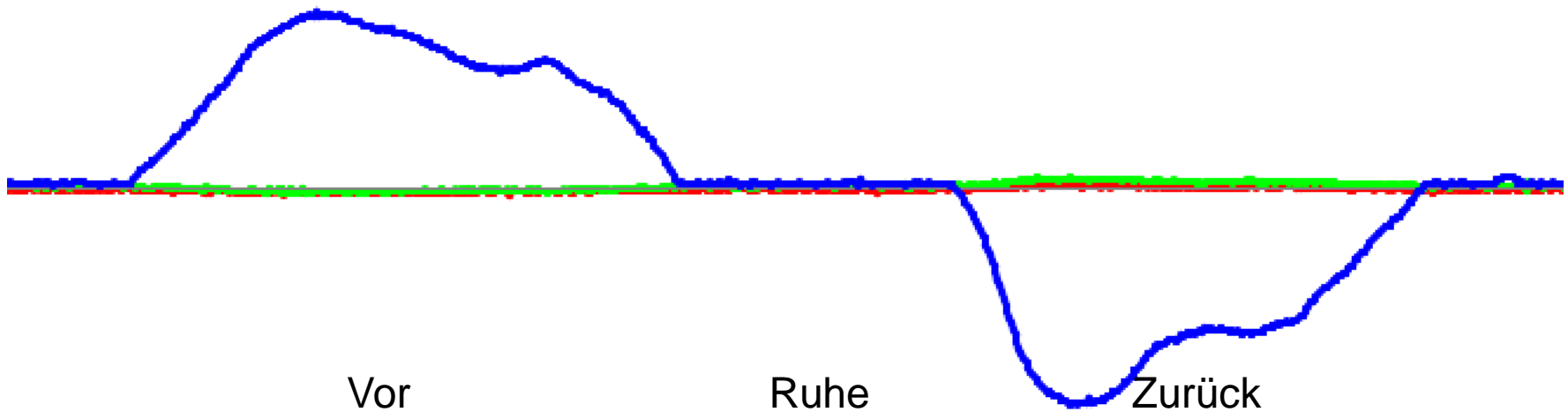
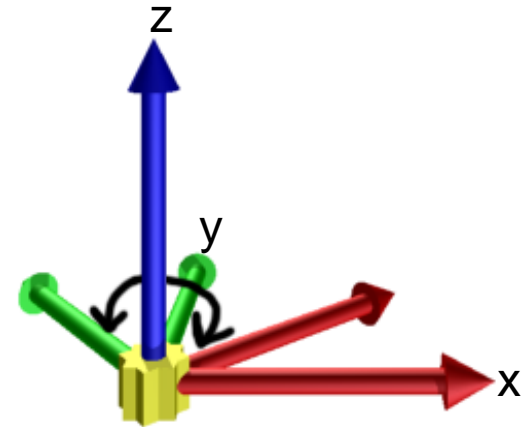


- "Um X"
 - X ist Drehachse
 - in Y/Z Ebene
- Rechte-Hand-Regel:
 - Daumen der rechten Hand zeigt Richtung Achse
 - gekrümmte Finger zeigen Drehung an





- Drehung um Z-Achse vor und zurück
 - Dreh**geschwindigkeit** um eine Achse
 - Nicht Drehbeschleunigung wie beim menschlichen Gleichgewichtsorgan

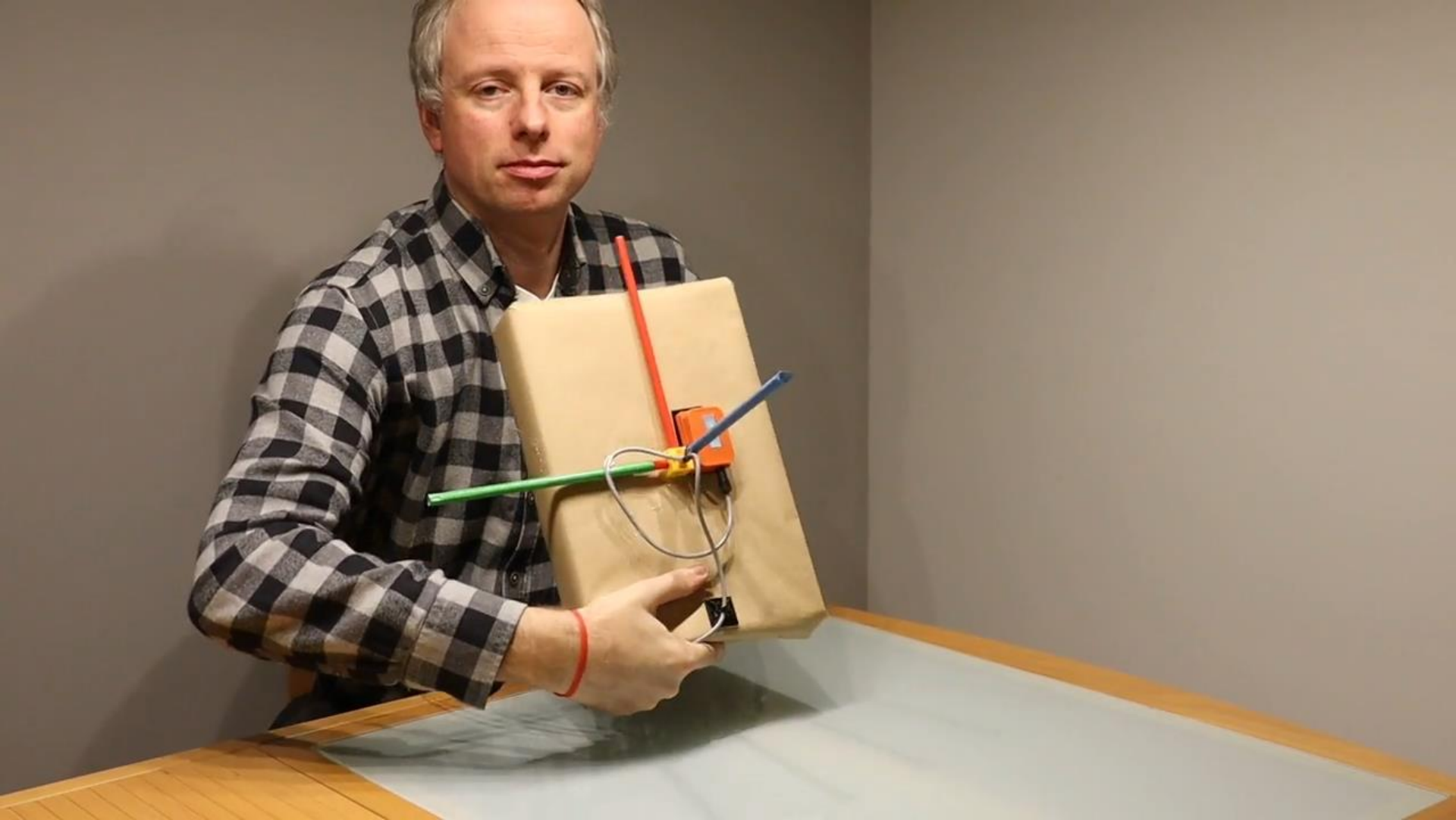


- Erste Idee für eine Formel Drehrate \rightarrow Orientierung*
- Aufsummieren der Drehung zu Winkeln, jeweils um X, Y, Z
- Fachwort: Aufintegrieren
- Winkel um X, Y, Z der die Orientierung beschreibt θ_t
- Orientierung als 3x3-Matrix R_t
- Drehrate (Gyrometer-Messung) ω_t
- Zeitschritt δt

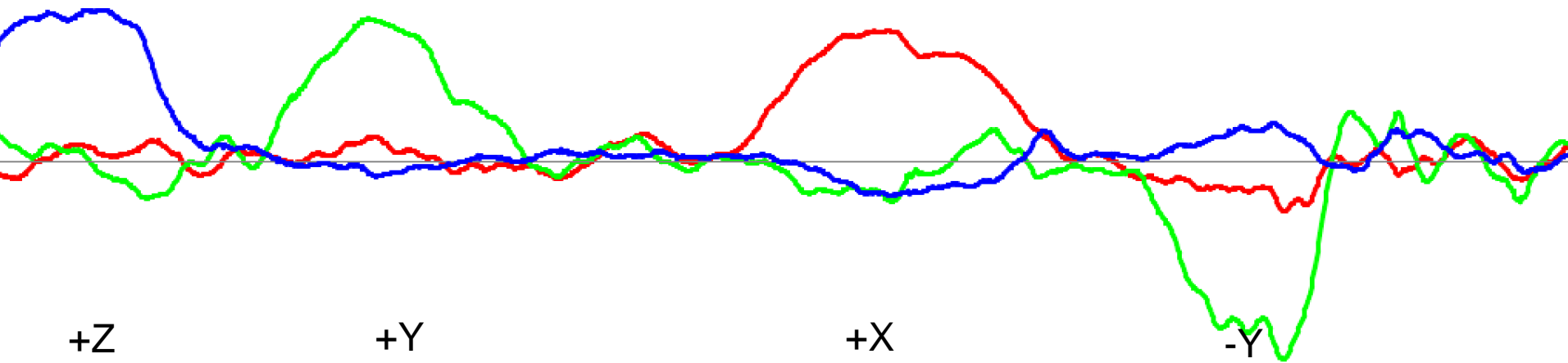
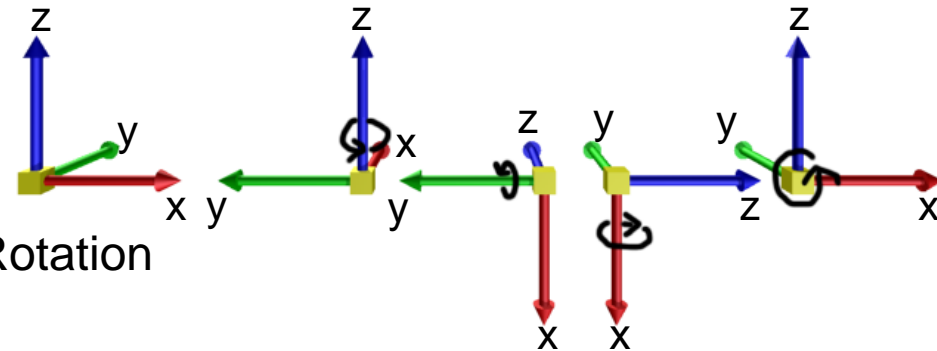
$$\theta_{t+\delta t} = \theta_t + \delta t \omega_t$$
$$R_{W \leftarrow I_t} = \text{Rot}(\theta_t)$$

*ACHTUNG: Vereinfacht und noch nicht richtig!





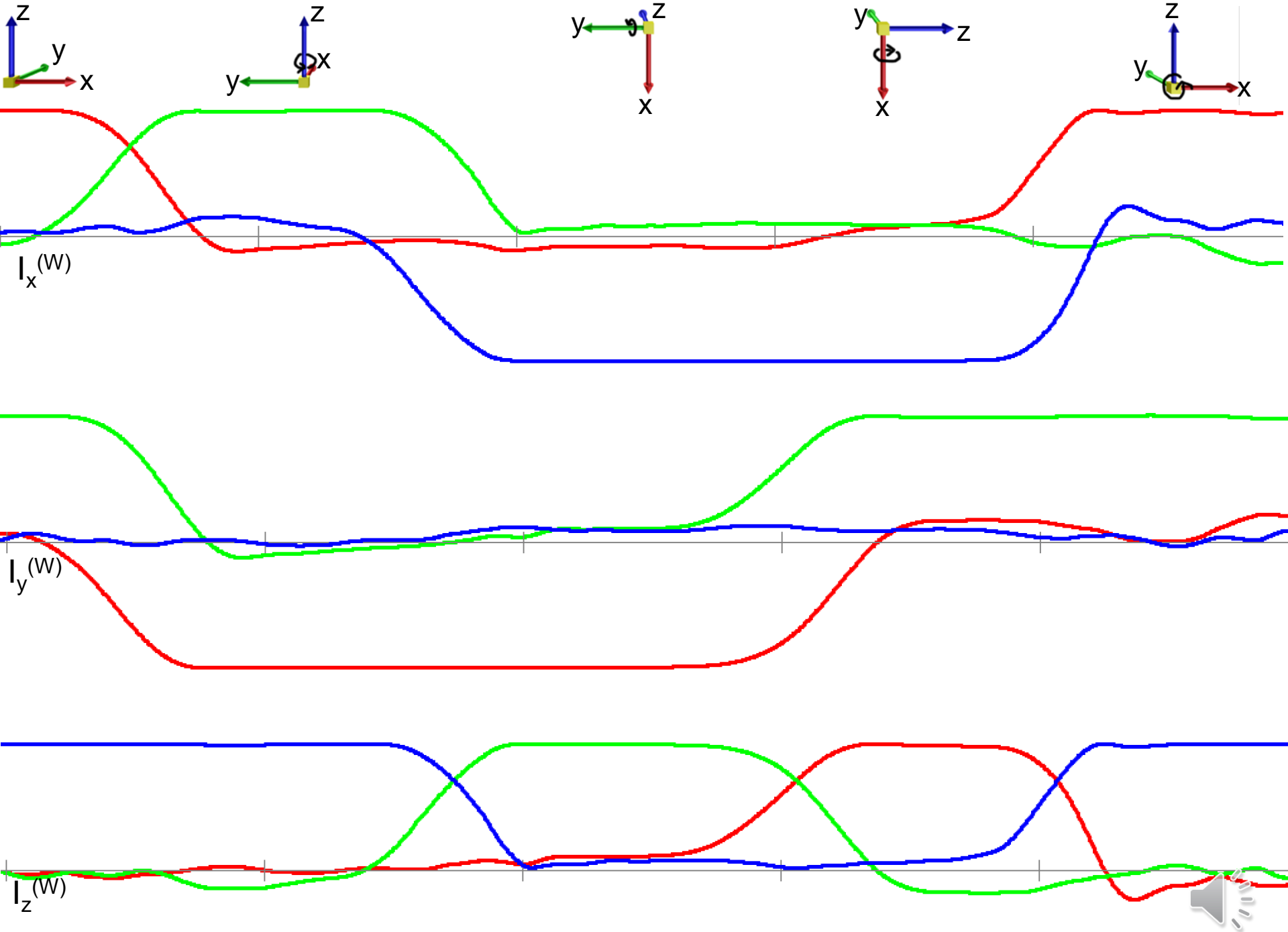
- Rotation um +Z+Y+X-Y jeweils 90°
 - Achtung: nebeneinander gezeichnet, aber selbe Position gemeint
 - Endet in der Anfangsorientierung
 - Laut Winkelsumme aber eine +X+Z Rotation
- Konsequenzen
 - Nicht im Sensorframe aufintegrieren!
 - Müssen im Weltframe aufintegrieren!
 - Sensordaten nach Weltframe umrechnen



- Richtige Idee für eine Formel Drehrate → Orientierung
- Jeder Zeitschritt ist eine kleine Rotation $\text{Rot}(\delta t \, \omega_t)$
- Verkettung von Rotationen über die Zeit
- Aufmultiplizieren statt aufsummieren
- Orientierung als 3×3-Matrix R_t
- Drehrate (Gyrometer-Messung) $\omega_t^{(lt)}$
- Zeitschritt δt

$$R_{W \leftarrow I_{t+\delta t}} = R_{W \leftarrow I_t} \underbrace{\text{Rot}(\delta t \omega_t^{(I_t)})}_{R_{I_t \leftarrow I_{t+\delta t}}}$$

- Nächste Folie: Die selbe Rotationssequenz mit obiger Formel



- Formel Beschleunigung, Drehrate \rightarrow Pose*
- Orientierung als 3x3-Matrix R_t
- Drehrate (Gyrometer-Messung) ω_t
- Position p_t
- Geschwindigkeit v_t
- Beschleunigung (Accelerometer-Messung) a_t
- Zeitschritt δt
- Gravitationsvektor $g^{(W)}$ (nach unten)

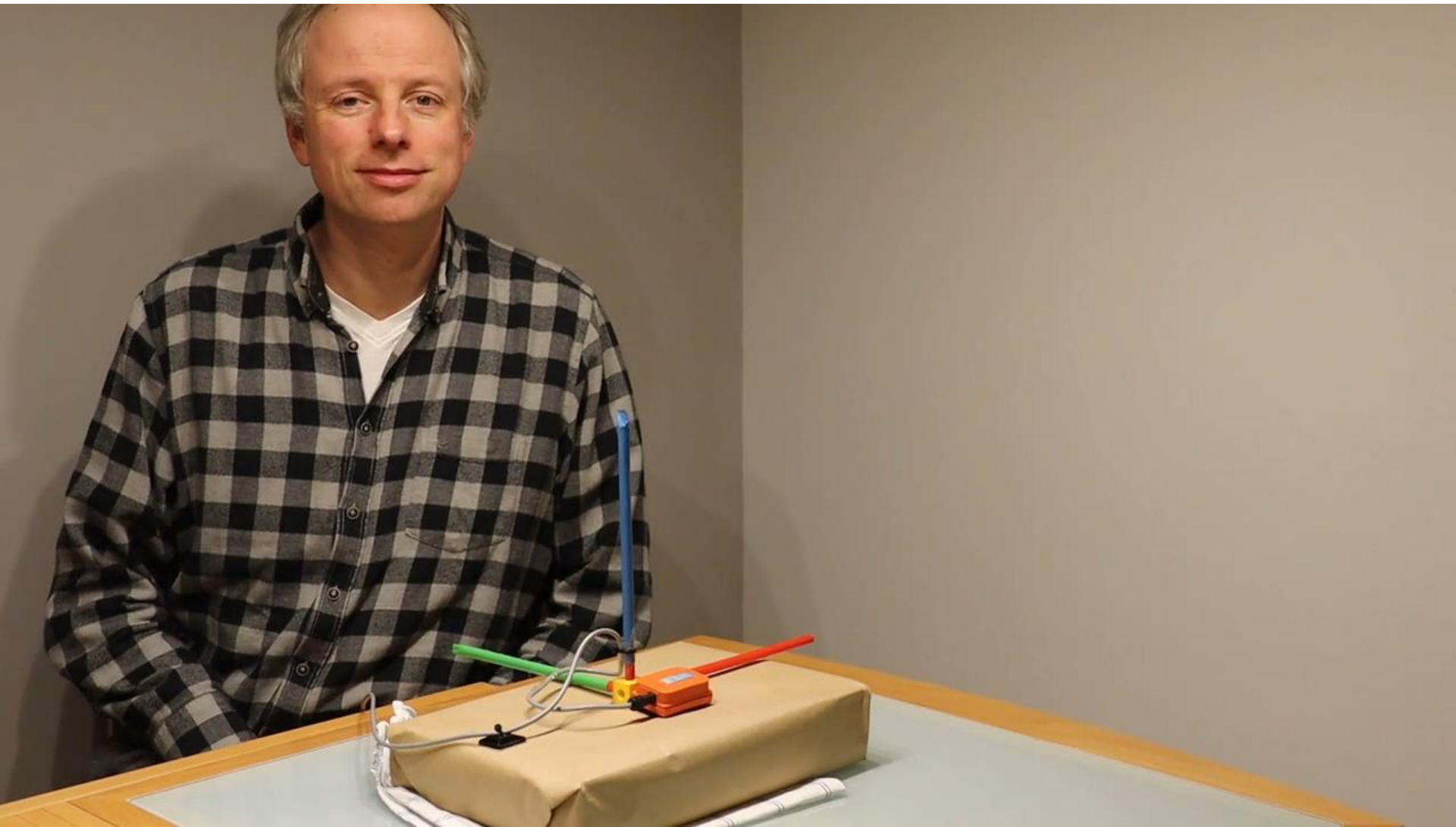
$$v_{t+\delta t}^{(W)} = v_t^{(W)} + \delta t (R_{W \leftarrow I_t} a_t^{(I_t)} + g^{(W)})$$

$$p_{t+\delta t}^{(W)} = p_t^{(W)} + \delta t v_t^{(W)}$$

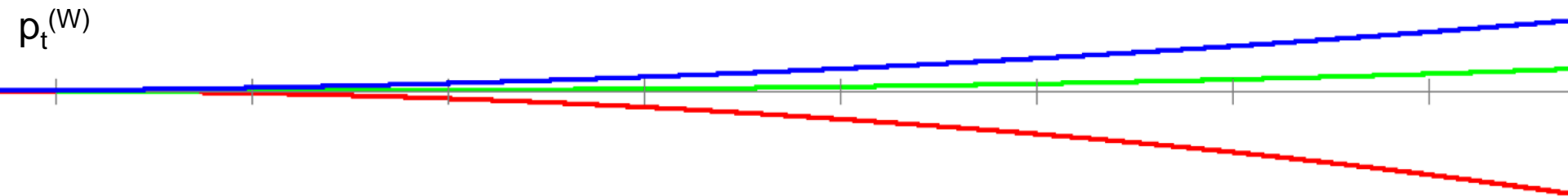
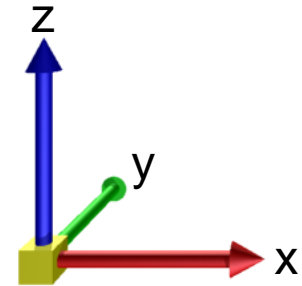
$$R_{W \leftarrow I_{t+\delta t}} = R_{W \leftarrow I_t} \text{Rot}(\delta t \omega_t^{(I_t)})$$

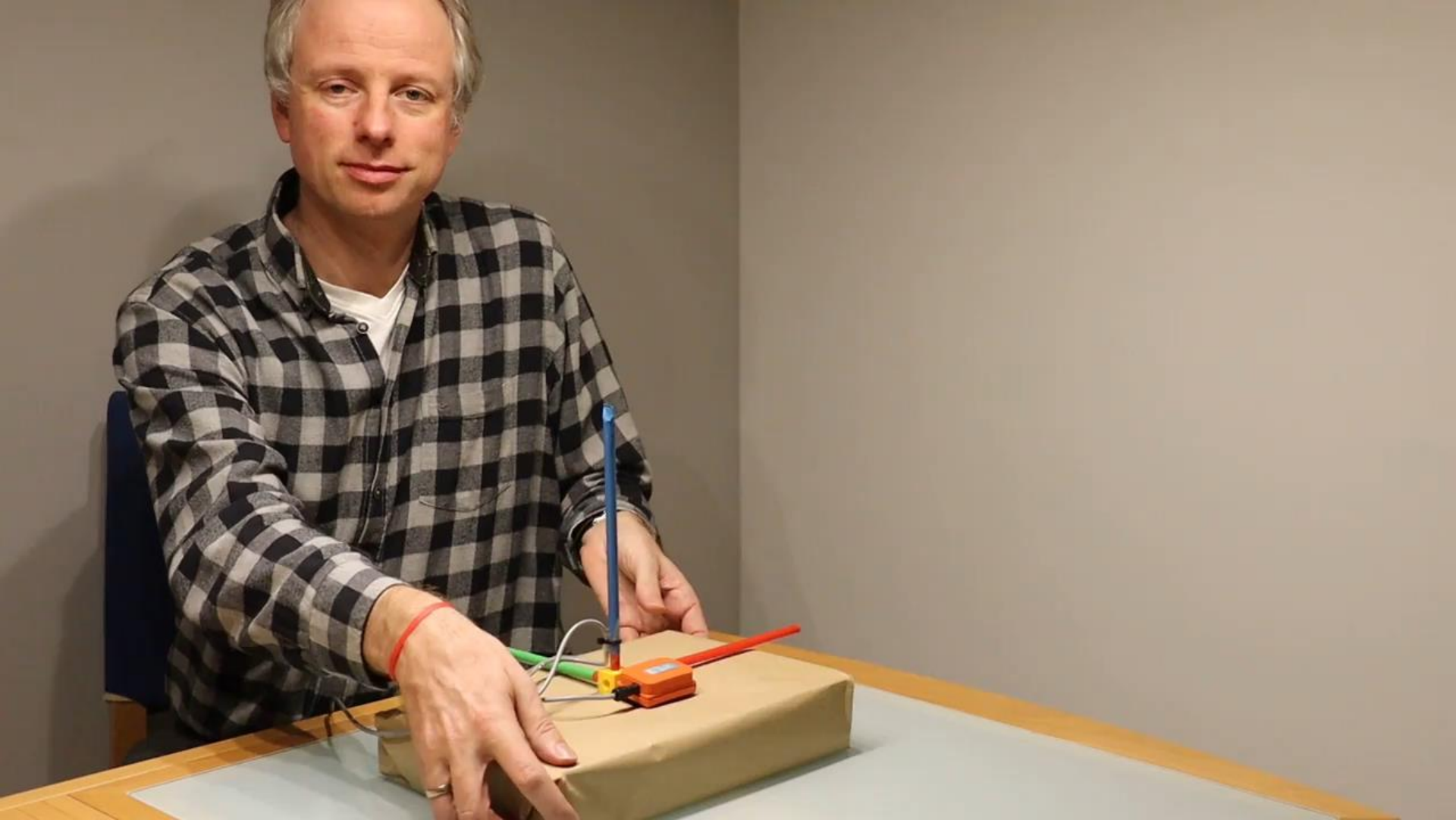
*Immer noch vereinfacht



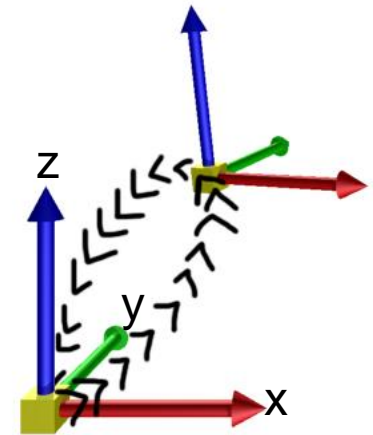


- Fehler akkumulieren sich
- Nach ein paar Sekunden driftet Position p_t
- Aufakkumulierende Fehlerkette
 - Gyrofehler
 - Orientierungsfehler \rightarrow Gravitationsfehler
 - Geschwindigkeitsfehler
 - Positionsfehler



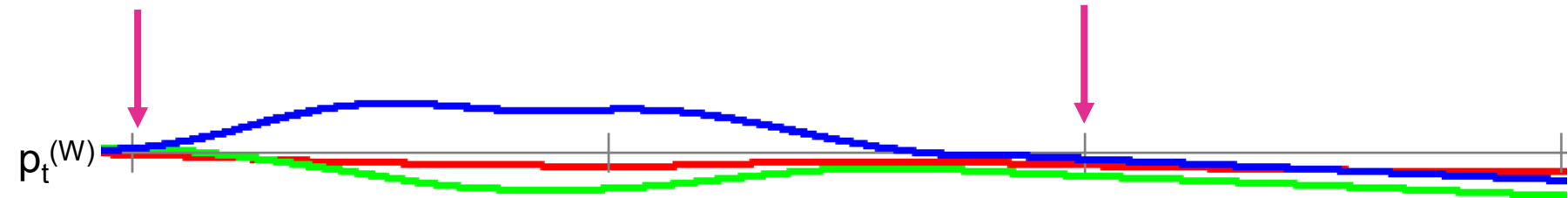


- Rotation und Translation gleichzeitig
- Funktioniert im Prinzip
- Driftet aber schnell davon.
 - Sensor recht alt
 - Neue Sensoren besser



Bewegung Start

Bewegung Ende



ACHTUNG: Hier ist anscheinend noch ein Fehler, die Bewegung sollte nach +Y gehen.

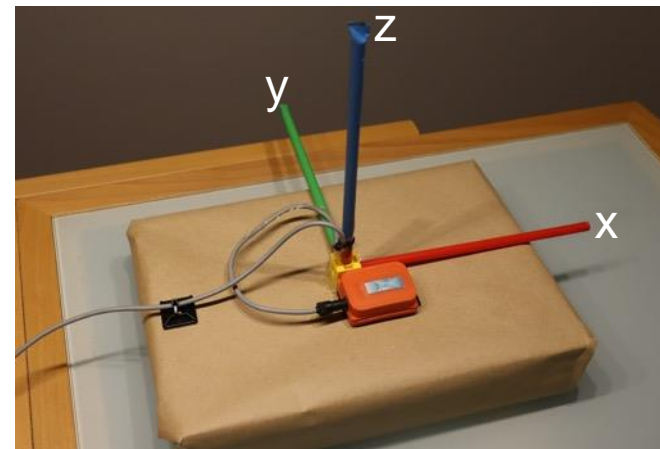
- Inertialsensor kein dauerhafter Posensensor
 - Wegen Drift
- Aber dauerhafter Neigungssensor
- Aber dauerhafter Orientierungssensor
 - Mit Magnetometer
- Kurze Bewegungen (Schritte, Sport, ...)
- Kombination (Fusion) mit Kamera, oder GPS, o.ä.
→ Theorie der Sensorfusion
- Kombination mit Zusatzannahmen
 - Schritte in der Ebene
 - Länge der Gliedmaßen am menschlichen Körper
- Qualitative Auswertung (Muster erkennen)

accelerometer

Frage an das Auditorium

- Was passierte dem Inertialsensor?

gyrometer



accelerometer

1

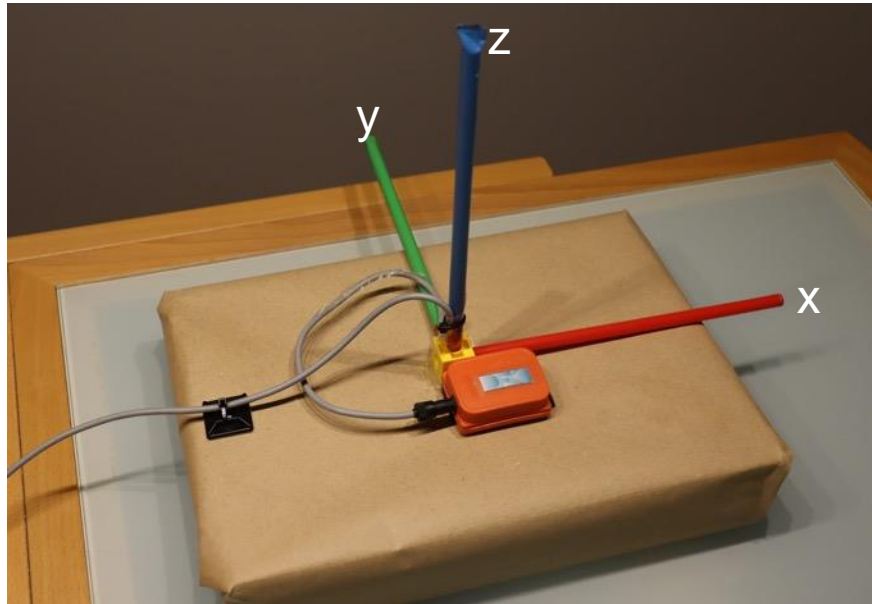
2

3

4

5

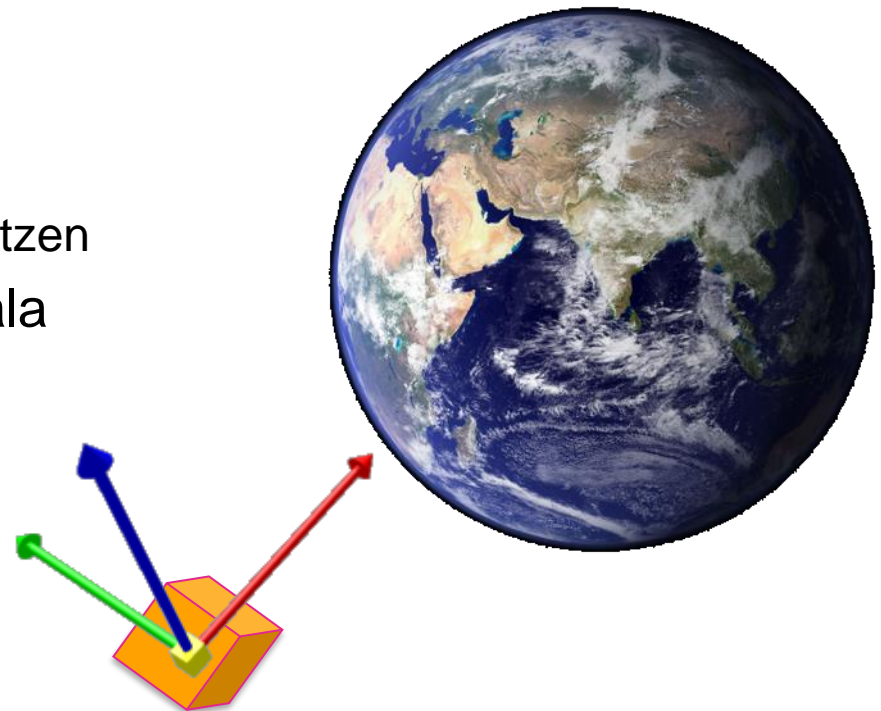
gyrometer



1. Lag auf dem Tisch
2. Bewegte sich Richtung Tischkante (+Y)
3. Kippte über die Kante
4. Fiel herunter
5. Schlag auf



- Erde dreht sich
 - Weltkoordinatensystem z.B. an Sternen fest machen
 - Erdkoordinatensystem bewegt sich relativ dazu
- Gravitation positionsabhängig
 - Zum Erdmittelpunkt
 - Stärke abhängig von Höhe
 - Stärke leicht abhängig vom Ort
 - Geologisches Gravitationsmodell nutzen
- Für Navigation auf geografischer Skala
 - Mit hochwertigen IMUs



- **Weiterführende Information zum technischen Aufbau**
- **Bosch Deutschland**
Video zum Funktionsprinzip eines MEMS Gyrometers (Drehratensensor)
https://www.youtube.com/watch?v=6_yhOORMpc8, 2020
- **Bosch Deutschland**
Video zum Funktionsprinzip eines Accelerometers (Beschleunigungssensor)
<https://www.youtube.com/watch?v=swCTbz5sIQM>, 2020

- Inertialsensor besteht aus Accelerometer und Gyrometer
- Accelerometer
 - misst Beschleunigung MINUS Gravitation in Sensorkoordinaten
 - Integration zu Geschwindigkeit und Position in Weltkoodinaten
- Gyrometer
 - misst Drehrate in Sensorkoordinaten
 - Integration durch Aufmultiplizieren von Drehmatrizen

$$v_{t+\delta t}^{(W)} = v_t^{(W)} + \delta t (R_{W \leftarrow I_t} a_t^{(I_t)} + g^{(W)})$$

$$p_{t+\delta t}^{(W)} = p_t^{(W)} + \delta t v_t^{(W)}$$

$$R_{W \leftarrow I_{t+\delta t}} = R_{W \leftarrow I_t} \text{Rot}(\delta t \omega_t^{(I_t)})$$

ACHTUNG
Schwieriger Stoff!
Zügig nacharbeiten!

- Accelerometer X/Y
 - Schritt +X
 - Schritt -X
 - Schritt +Y
 - Schritt +X mit Rotation 180° Z
- Accelerometer X/Y/Z
 - Ruhe, Schritt nach +Z
 - Ruhige Drehung am Ort
 - Ruckelige Drehung am Ort
- Gyrometer
 - Rotation um Z vor und zurück
 - Rotation um +Z+Y+X-Y jeweils 90°
- Orientierung (aus Gyrometer integriert)
 - Rotation um +Z+Y+X-Y jeweils 90°
- Pose (aus Gyrometer und Accelerometer integriert)
 - Sensor in Ruhe
 - Sensor hochgehoben und genau wieder zurückgesetzt

- Schorschi2, Die Rechte-Faust-Regel,
https://de.wikipedia.org/wiki/Korkenzieherregel#/media/Datei:Right-hand_grip_rule.svg,
2009, CC-0